

## Pengaruh Rasio Mol $M_2O/SiO_2$ dan $M_2O/Al_2O_3$ (M: Na dan K) terhadap Karakteristik Geopolimer Abu Layang Batubara

Ridho Aditya Rahman , Ella Kusumastuti, dan Nuni Widiarti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

### Info Artikel

Diterima Februari 2020

Disetujui April 2020

Dipublikasikan Mei 2020

### Keywords:

geopolimer  
rasio mol  $M_2O/SiO_2$ ,  
 $M_2O/Al_2O_3$   
curing


### Abstrak

Abu layang kelas C telah diteliti mampu menggantikan semen portland karena memiliki kandungan alumino dan silika yang tinggi, sebagai bahan dasar pada beton berbasis geopolimer. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio mol  $M_2O/SiO_2$  dan  $M_2O/Al_2O_3$  (M: Na dan K) terhadap kualitas geopolimer yang dihasilkan serta mengetahui pengaruh dua jenis aktivator KOH dan NaOH terhadap kualitas geopolimer berdasarkan uji kuat tekan, analisis fasa mineral XRD dan analisis gugus fungsi FT-IR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum diperoleh pada geopolimer dengan rasio mol  $K_2O/SiO_2$  sebesar 0,17 dan rasio  $K_2O/Al_2O_3$  sebesar 0,91 pada *curing* 60°C sebesar 34,14 MPa dan rasio mol  $Na_2O/SiO_2$  0,27 dan rasio  $Na_2O/Al_2O_3$  1,43 memiliki kuat tekan sebesar 31,85 MPa. Hasil suhu *curing* optimum pada penelitian ini sebesar 60°C dimana terjadi penurunan nilai kuat tekan pada perlakuan *curing* sebesar 75 dan 90°C. Karakteristik geopolimer dengan rasio mol  $M_2O/SiO_2$  dan  $M_2O/Al_2O_3$  (M : K dan Na) terhadap analisis XRD mengakibatkan terbentuknya puncak  $KAlSiO_4$  (Ka) dan  $NaAlSi_3O_8$  (Al) dengan nilai derajat kristalinitas total aktivator  $K^+$  52,14% lebih *amorf* dari aktivator  $Na^+$  55,32% dan lebih *amorf* dari prekursor abu layang 58,05%. Analisis gugus fungsi geopolimer dengan FT-IR menunjukkan telah terbentuk geopolimer ditandai dengan adanya pita serapan pada 996,01 dan 987,53  $cm^{-1}$  mengindikasikan vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al.

### Abstract

Class C fly ash has been studied capable of replacing portland cement because it has a high content of alumino and silica, as a base for geopolymer-based concrete. The purpose of this study was to determine the effect of mmole ratios  $M_2O/SiO_2$  and  $M_2O/Al_2O_3$  on the geopolymer quality produced and determine the effect of two types of KOH and NaOH activators on geopolymer quality based on the test compressive strength, XRD mineral phase analysis and FTI-R functional group analysis. The results showed that optimum compressive strength was obtained in geopolymers with a mol ratio of  $K_2O/SiO_2$  of 0.17 and a ratio of  $K_2O/Al_2O_3$  of 0.91 at *curing* 60°C of 34.14 MPa and mol ratio of  $Na_2O/SiO_2$  0.27 and the ratio of  $Na_2O/Al_2O_3$  1.43 has a compressive strength of 31.85 MPa. The temperature results *curing* optimum in this study were 60°C where the compressive strength decreased in the treatment *curing* by 75 and 90°C. Geopolymer characteristics with mmole ratios  $M_2O/SiO_2$  and  $M_2O/Al_2O_3$  (M: K and Na) to XRD analysis resulted in the formation of peak  $KAlSiO_4$  (Ka) and  $NaAlSi_3O_8$  (Al) with the degree of crystallinity total  $K^+$  52.14% activator is more amorphous than  $Na^+$  activator 55.32% and more amorphous than fly ash precursor 58.05%. Analysis of the geopolymer functional group with FT-IR showed that geopolymers were formed characterized by the presence of absorption bands at 996.01 and 987.53  $cm^{-1}$  indicating stretching vibrations of Si-O-Si or Si-O-Al asymmetry.

© 2020 Universitas Negeri Semarang

 Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: [adidit85@gmail.com](mailto:adidit85@gmail.com)

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

## Pendahuluan

Abu layang batubara (*fly ash*) merupakan sisa pembakaran batubara yang banyak dihasilkan industri kelistrikan berbasis batubara, industri semen dan industri lainnya. Abu layang batubara belum dimanfaatkan secara maksimal, untuk saat ini pemanfaatannya terbatas antara lain sebagai adsorben, batako, campuran semen dan geopolimer. Geopolimer memiliki kuat tekan yang lebih baik daripada bata, tahan terhadap pemanasan tinggi Abu layang juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer karena memiliki sifat *pozzolan* yang baik (Ekaputri & Damayanti, 2007). Geopolimer berbasis abu layang mempunyai kapasitas lebih tinggi dalam mengurangi ion logam berat dibandingkan dengan beton (Al-Zboon *et al.*, 2011).

Jenis dan konsentrasi larutan alkali merupakan faktor yang perlu dikaji karena berperan dalam proses aktivasi mineral aluminosilikat dalam sintesis geopolimer berbasis abu layang. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nadoushan & Ramezaniapour (2016) menyebutkan bahwa penggunaan larutan dengan aktivator tertentu mampu mencapai titik nilai kekuatan optimum pada konsentrasi tertentu seiring dengan naiknya alkalinitas (pH). Pada umumnya, aktivator alkali merupakan campuran larutan alkali dan *soluble silicate*. Natrium atau kalium merupakan alkali yang umum digunakan dan sangat baik dalam menstabilkan anion monomer aluminosilikat pada proses geopolimerisasi. Konsentrasi optimum dalam penggunaan jenis aktivator terhadap suhu *curing* dan komposisi awal sampel geopolimer menjadi salah satu faktor yang perlu diketahui secara pasti. Hal ini dikarenakan kation  $K^+$  memiliki ukuran jari-jari yang lebih besar dari  $Na^+$  yang artinya dalam jumlah komposisi mol yang sama banyaknya ion  $K^+$  akan lebih sedikit dari  $Na^+$  akan tetapi ion  $K^+$  akan lebih mampu untuk membentuk oligomer silikat yang lebih besar (Nadoushan & Ramezaniapour, 2016).

## Metode

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara cetakan silinder plastik, dan oven *Memmert*, instrument mesin penguji kuat tekan (*universal testing machine*), XRF (*X-Ray Fluorescence*) *BRUKER*, XRD (*X-Ray Diffraction*) *BRUKER 6000*, dan FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) *Shimadzu 8201 PC*. Bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah abu layang batubara yang diambil dari PLTU Karangandri Cilacap, natrium silikat ( $Na_2SiO_3$ ), natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH) *grade pro analyst* buatan *Merck*, dan aquades ( $H_2O$ ).

Sintesis geopolimer diawali dengan mengkarakterisasi kandungan kimia dan fasa mineral abu layang batubara. Setelah itu, larutan alkali dibuat dengan memvariasi jumlah NaOH dan atau KOH dengan variasi (3,5; 4; 4,5; 5 dan 5,5 gram) yang dilarutkan dalam 8 gram aquades terlebih dahulu, kemudian larutan didiamkan selama 24 jam kemudian dicampurkan dengan natrium silikat 10 gram (Xu & Deventer, 2018; Jaarsveld *et al.*, 2003; Duxson, 2007; Silva & Sirivivatnanon, 2007).

Penentuan rasio mol  $M_2O/SiO_2$  dan  $M_2O/Al_2O_3$  dilakukan dengan cara abu layang dicampur dengan larutan alkali aktivator dimana alkali aktivator yang digunakan dalam penelitian ini adalah alkali NaOH dan atau KOH yang telah dicampur dengan  $Na_2SiO_3$  sesuai dengan komposisi lalu diaduk hingga homogen dan terbentuk pasta. Pengadukan awal dilakukan dengan tangan selama 2 menit, kemudian menambahkan  $Na_2SiO_3$  kemudian pengadukan dilanjutkan dengan *mixer* selama 5 menit sampai terbentuk pasta geopolimer (Nadoushan & Ramezaniapour, 2016).

## Hasil dan Pembahasan

Komposisi kimia abu layang ditampilkan pada Tabel 1 dan hasil analisis XRD ditampilkan pada Gambar 1.

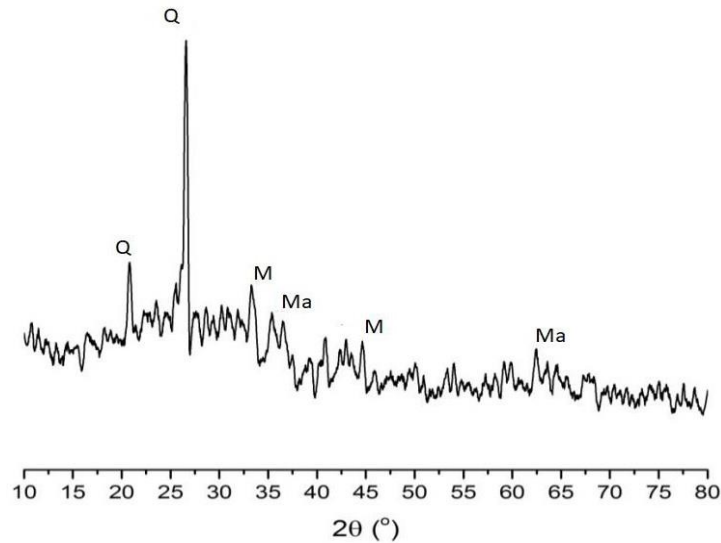
**Tabel 1.** Komposisi kimia abu layang PLTU Karangandri Cilacap dengan XRF

| Unsur     | % Massa | Unsur     | % Massa |
|-----------|---------|-----------|---------|
| $Al_2O_3$ | 13,05   | $SO_3$    | 1,85    |
| $SiO_2$   | 39,49   | $V_2O_5$  | 0,08    |
| $Fe_2O_3$ | 20,78   | $Cr_2O_3$ | 0,03    |
| CaO       | 16,65   | $TiO_2$   | 1,60    |
| $P_2O_5$  | 3,96    | MgO       | 0,00    |
| $Na_2O$   | 0,48    | $K_2O$    | 1,58    |

Sumber: Data primer analisis XRF

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa komponen utama dari abu layang adalah  $SiO_2$  39,49%,  $Al_2O_3$  13,05%,  $Fe_2O_3$  20,78%, dan CaO 16,65%. Abu layang PLTU Karangandri Cilacap termasuk ke

dalam kelas C karena kandungan CaO lebih dari 10% (ASTM, 2012). Informasi kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> perlu diketahui karena SiO<sub>2</sub> diperlukan untuk inisiasi pembentukan oligomer dan polikondensasi silikat yang dapat meningkatkan efisiensi geopolimer (Panias & Giannopoulou, 2007). sedangkan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> digunakan sebagai penghubung antaroligomer silikat yang akan membentuk struktur tiga dimensi (Rees *et al.*, 2007). Rasio berat SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam abu layang PLTU Cilacap adalah 1,818 atau jika dikonversikan ke dalam rasio mol SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah 3,091.



**Gambar 1.** Difraktogram abu layang PLTU Cilacap (Q = quartz, M = mullite, dan Ma = magnetite)

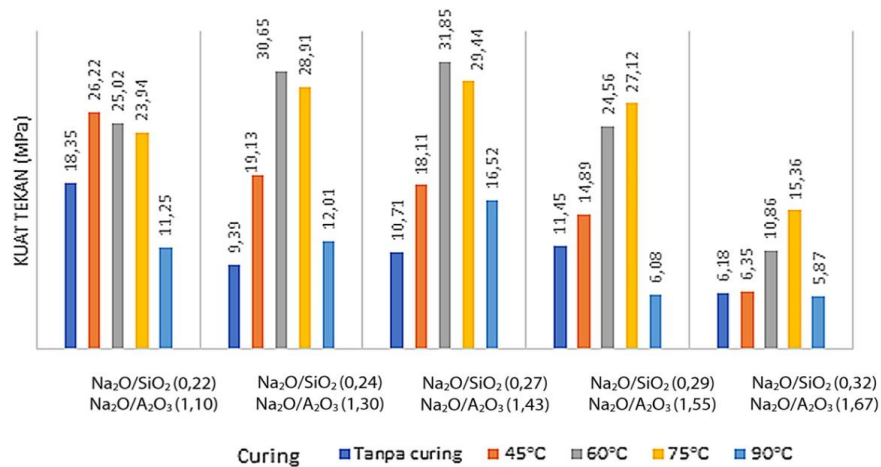
Difraktogram yang diperoleh pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa abu layang PLTU Karangandri Cilacap berfasa *amorf* dengan *quartz* dan *mullite* sebagai mineral utamanya. Puncak dihasilkan pada  $\theta = 20,80^\circ$ ;  $26,38^\circ$ ; dan  $68,29^\circ$  (JCPDS no. 05-0490) yang merupakan puncak *quartz* (SiO<sub>2</sub>), sedangkan *mullite* (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>) pada  $\theta = 33,39^\circ$  dan  $42,89^\circ$  (PDF 06-0258) serta *magnetite* (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) pada  $\theta = 35,31^\circ$  dan  $62,30^\circ$  (PDF 03-0862). *Quartz* dan *mullite* merupakan sumber utama silika dan alumina yang terkandung dalam abu layang. *Mullite* tersusun atas 27,8% SiO<sub>2</sub> dan 71,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sedangkan *quartz* mengandung lebih dari 99% SiO<sub>2</sub> (). Puncak-puncak tajam menunjukkan fasa kristalin yang tidak reaktif, sedangkan fasa *amorf* ditunjukkan dengan adanya gundukan (*hump*) pada  $\theta = 10-40^\circ$ .

Parameter penting yang harus diperhatikan dalam sintesis geopolimer diantaranya rasio M<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>, M<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan jenis aktivator yang digunakan, karena jenis dan konsentrasi larutan pengaktif akan mempengaruhi seberapa besar SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dapat larut untuk membentuk monomer-monomer aktif, sehingga reaksi polimerisasi dapat berjalan (Andini *et al.*, 2008). Rasio mol M<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> dan M<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diperoleh dengan memvariasi konsentrasi (% massa) dari kedua aktivator KOH dan NaOH. Gambar 2 menunjukkan hasil sintesis geopolimer, dalam penelitian ini telah dilakukan variasi penggunaan dua jenis alkali aktivator KOH dan NaOH, dengan memvariasi konsentrasi aktivator hingga diperoleh rasio mol M<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> dan M<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

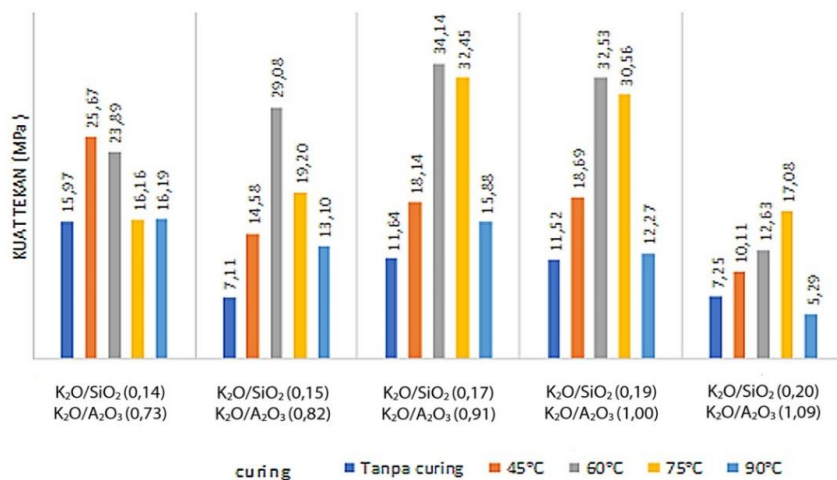


**Gambar 2.** Hasil sintesis geopolimer dengan variasi rasio mol  $M_2O/SiO_2$  dan  $M_2O/Al_2O_3$  (M: Na dan K) dan variasi *curing* 0, 45, 60, 75, 90°C

Gambar 2 menjelaskan bahwa geopolimer dengan penggunaan aktivator  $K^+$  maupun aktivator  $Na^+$  tidak memiliki perbedaan fisik secara signifikan dikarenakan menggunakan jenis prekursor yang sama dan sifat alkalinitas aktivator yang sama. Kepadatan matriks geopolimer yang terbentuk dapat dilihat dari pasta geopolimer yang dihasilkan dari aktivator  $K^+$  hampir sama dengan pasta geopolimer dengan aktivator  $Na^+$ . Pasta geopolimer yang dihasilkan dari rasio mol  $M_2O/SiO_2$  dan  $M_2O/Al_2O_3$  yang rendah sedikit lebih cepat mengeras. Pengerasan ini dapat dikarenakan mempengaruhi nilai rasio S/L (*Solid/Liquid*) yang rendah pada pasta geopolimer dan kadar CaO yang tinggi dapat mempercepat proses pengerasan pasta geopolimer (Deventer *et al.*, 2007; Xu & Deventer, 2018). Geopolimer ini selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan, dan dikarakterisasi menggunakan XRD, FT-IR. Hasil kuat tekan geopolimer dengan variasi rasio mol  $M_2O/SiO_2$  dan  $M_2O/Al_2O_3$  (M: Na dan K) ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



**Gambar 3.** Diagram kuat tekan geopolimer dengan variasi rasio mol  $Na_2O/SiO_2$ ,  $Na_2O/Al_2O_3$  dan variasi *curing* Tanpa *curing*, 45, 60, 75, 90°C

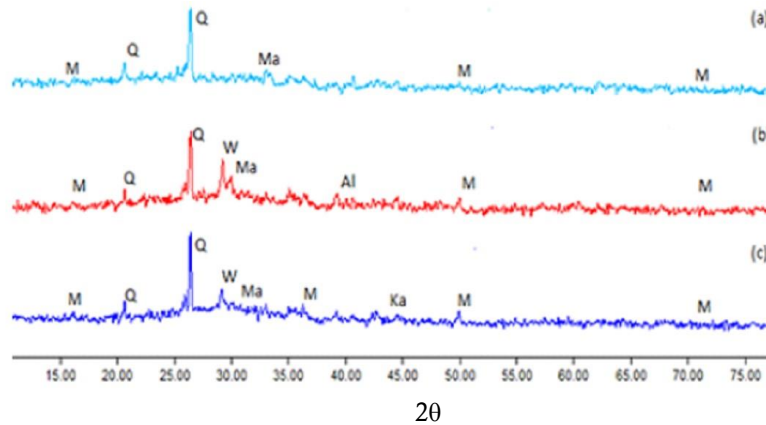


**Gambar 4.** Diagram kuat tekan geopolimer dengan variasi rasio mol  $K_2O/SiO_2$ ,  $K_2O/Al_2O_3$  dan variasi *curing* Tanpa *curing*, 45, 60, 75, 90°C

Gambar 3 menunjukkan hasil kuat tekan geopolimer dengan aktivator NaOH, kuat tekan optimum yang dihasilkan pada rasio mol  $Na_2O/SiO_2$  0,24 dan rasio  $Na_2O/Al_2O_3$  1,30 pada *curing* 60°C sebesar 30,65 MPa. Jika dibandingkan dengan geopolimer tanpa perlakuan *curing* kuat tekan optimum yang dihasilkan sebesar 18,35 MPa dengan rasio mol  $Na_2O/SiO_2$  0,22 dan rasio  $Na_2O/Al_2O_3$  0,73. Geopolimer dengan

perlakuan *curing* 45°C menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 26,22 MPa dengan rasio mol Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> 0,22 dan rasio Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,73. Gambar 4 menunjukkan hasil kuat tekan geopolimer dengan aktivator KOH kuat tekan optimum yang dihasilkan pada rasio mol K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> sebesar 0,17 dan rasio K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 0,91 pada *curing* 60 °C sebesar 34,14 MPa. Hal ini menjelaskan bahwa geopolimer dengan aktivator KOH dapat meningkatkan nilai kuat tekan geopolimer. Penurunan nilai kuat tekan geopolimer dengan aktivator KOH secara signifikan terjadi saat perlakuan *curing* 90°C sebesar 5,28 MPa dengan rasio mol K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> 0,20 dan rasio mol K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,09.

Semakin tinggi rasio mol Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> dan rasio Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mengakibatkan berkurangnya viskositas pasta geopolimer yang dipengaruhi oleh penurunan rasio S/L sehingga fasa liquid akan lebih banyak dari fasa solid. Pembentukan oligomer silikat dan aluminat membutuhkan H<sub>2</sub>O, tetapi terjadi saat *pre-curing*. Polikondensasi pada tahap berikutnya terjadi pada saat *curing*, dimana terjadi akselerasi oleh peningkatan suhu sehingga mempercepat kinetika reaksi polikondensasi secara termal (Khale & Chaudhary, 2007).



**Gambar 5.** Difraktogram XRD (a) abu layang, (b) Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> 0,27 *curing* 60°C, (c) K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> 0,17 *curing* 60 °C

Terbentuknya geopolimer ditandai dengan peningkatan gundukan (*hump*) 2θ antara 20° sampai 40° (Phair & Deventer, 2002). Gambar 5 menunjukkan bahwa geopolimer dengan aktivator KOH dan NaOH terbentuk fasa *amorf* yang relatif lebih besar dilihat dari adanya puncak dengan intensitas yang lebih rendah pada mineral utama SiO<sub>2</sub> (*quartz*), 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub> (*mullite*) dan FeO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*magnetite*), hal ini dapat terjadi karena terbentuknya matriks geopolimer berupa fasa *amorf* aluminosilikat yang baru akibat pelarutan fasa *amorf* abu layang dalam larutan alkali (Kakali *et al.*, 2001).

Gambar 5 (a) merupakan difraktogram abu layang PLTU Karangandri Cilacap menyatakan bahwa abu layang ini memiliki struktur semikristalin dengan mineral utama SiO<sub>2</sub> (*quartz*), 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub> (*mullite*) dan FeO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*magnetite*). Gambar 5 (b). merupakan geopolimer yang disintesis dengan aktivator NaOH dengan rasio mol Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> 0,27 pada *curing* 60°C memiliki kuat tekan tertinggi 31,85 MPa. Menurunnya intensitas FeO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*magnetite*) dan CaSiO<sub>3</sub> (*Wollastonite*) pada sampel Gambar 5(c) mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai kuat tekan geopolimer hal tersebut menunjukkan bahwa rasio mol K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> yang tinggi mengakibatkan pelarutan fasa *amorf* FeO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*magnetite*) dan CaSiO<sub>3</sub> (*Wollastonite*), hal ini menyebabkan terjadinya optimasi pembentukan geopolimer Si-O-Al *amorfus*. Geopolimer dengan rasio mol K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> 0,17 *curing* 60°C memiliki kuat tekan 34,14 Mpa.

Sesuai data hasil uji, ketiga sampel memiliki puncak-puncak mineral yang hampir sama, dengan intensitas berbeda dan luas area kristalinitas yang berbeda. Puncak-puncak tinggi berada pada mineral SiO<sub>2</sub> (*quartz*) CaSiO<sub>3</sub> (*Wollastonite*) dan Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub> (*mullite*). Keterangan mineral dengan sudut 2θ dan derajat kristalinitas X<sub>c</sub> (%) terdapat pada Tabel 2 di bawah ini, dengan data *software* dan metode *search and match*.

**Tabel 2.** Hasil analisis mineral hasil uji XRD

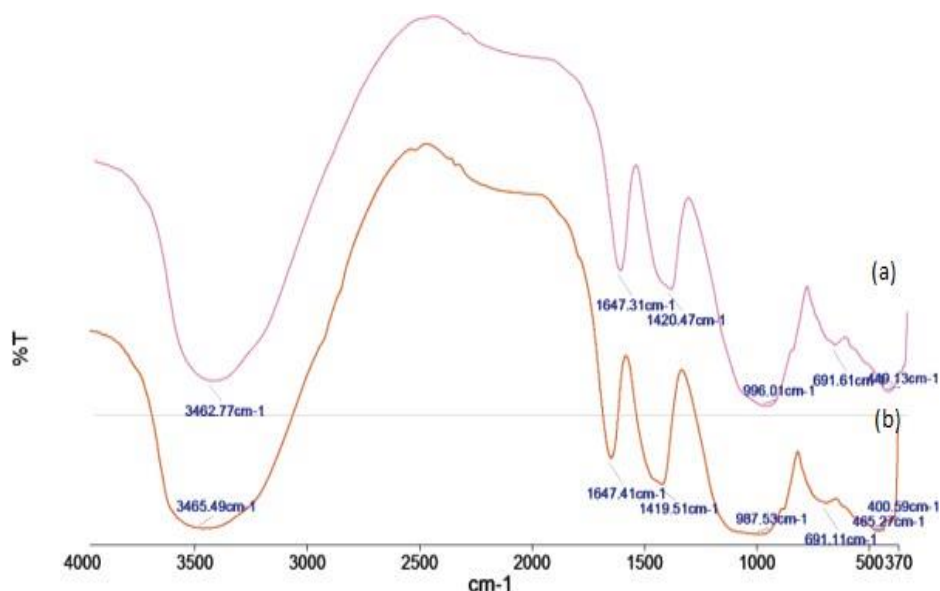
| Sampel     | Mineral   | 2 θ (°) | Area (counts) | X <sub>c</sub> (%) | Referensi        |
|------------|---|---------|---------------|--------------------|------------------|
| Abu layang | SiO <sub>2</sub> (Q)                                | 26.64   | 3481          | 58,05%             | 57-63 (2007)     |
|            | Al <sub>6</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>13</sub> (M) | 16,45   | 5645          |                    | 332-342 (1991)   |
|            | CaSiO <sub>3</sub> (W)                              | -       | -             |                    | 217-229 (1984)   |
|            | KAlSiO <sub>4</sub> (Ka)                            | -       | -             |                    | 1027-1034 (2010) |
|            | NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (Al)             | -       | -             |                    | 1115-1120 (2005) |
|            | FeO.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ma)             | 30,28   | 3453          |                    | 541-555 (1994)   |

|   |   |       |      |        |                  |
|---|---|-------|------|--------|------------------|
| Geopolimer<br>Na <sub>2</sub> O/SiO <sub>2</sub> 0,27 | SiO <sub>2</sub> (Q)                                | 26,60 | 1503 | 55,32% | 57-63 (2007)     |
|   | Al <sub>6</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>13</sub> (M) | 16,16 | 1225 |        | 332-342 (1991)   |
|   | CaSiO <sub>3</sub> (W)                              | 29,40 | 3474 |        | 217-229 (1984)   |
|   | KAlSiO <sub>4</sub> (Ka)                            | 41,23 | 435  |        | 1027-1034 (2010) |
|   | NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (Al)             | 44,44 | 444  |        | 1115-1120 (2005) |
|   | FeO.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ma)             | 30,14 | 372  |        | 541-555 (1994)   |
| Geopolimer<br>K <sub>2</sub> O/SiO <sub>2</sub> 0,17  | SiO <sub>2</sub> (Q)                                | 26,68 | 1620 | 52,14% | 57-63 (2007)     |
|   | Al <sub>6</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>13</sub> (M) | 16,43 | 1367 |        | 332-342 (1991)   |
|   | CaSiO <sub>3</sub> (W)                              | 29,42 | 2789 |        | 217-229 (1984)   |
|   | KAlSiO <sub>4</sub> (Ka)                            | 45,36 | 107  |        | 1027-1034 (2010) |
|   | NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (Al)             | 43,88 | 668  |        | 1115-1120 (2005) |
|   | FeO.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ma)             | 30,19 | 465  |        | 541-555 (1994)   |

Rentang area puncak *kalsilite* dan *albite*, hampir sama karena merupakan mineral dasar Al-O-Si. Hal ini mengakibatkan puncak terlihat sama dan bila keduanya terbentuk, maka akan saling tumpang tindih. Sampel pasta geopolimer menggunakan larutan alkali Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>, memiliki puncak mineral yang identik dengan sampel formulasi K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>, tapi berbeda intensitas intensitas yang rendah menunjukkan sifat keamorf suatu material semakin rendah intensitas semakin *amorf* suatu material (Adler *et al.*, 2011). Rendahnya puncak SiO<sub>2</sub> menunjukkan, bahwa alkali K mampu melarutkan Si dan Al dengan baik, membentuk aluminosilikat *amorfus* yang distabilkan oleh kation K<sup>+</sup>. Hal ini terbukti dengan terdeteksinya mineral *kalsilite* (KAlSiO<sub>4</sub>). Adanya perbedaan fasa *amorf* yang terbentuk dapat dikaitkan dengan hasil kuat tekan yaitu dengan semakin *amorf* geopolimer yang dihasilkan maka kuat tekan juga semakin tinggi. Semakin *amorf* geopolimer maka material yang bereaksi semakin banyak sehingga rantai geopolimer yang terbentuk semakin panjang (Panias & Giannopoulou, 2007).

Penggunaan larutan alkali aktivator KOH pada pasta geopolimer K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> mampu menggantikan ion Na<sup>+</sup> dan mampu menstabilkan rantai Si-O-Al yang besar dengan terbentuknya struktur kristalin CaSiO<sub>3</sub> (*Wollastonite*) dengan luas 2789 *count* dengan derajat kristalinitas total sebesar 52,14% lebih *amorf* dari Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> dengan luas kristalinitas CaSiO<sub>3</sub> (*Wollastonite*) 3474 *count* dengan derajat kristalinitas total 55,32%. Adanya perbedaan fasa *amorf* yang terbentuk dapat dikaitkan dengan hasil kuat tekan yaitu dengan semakin *amorf* geopolimer yang dihasilkan maka kuat tekan juga semakin tinggi. Semakin *amorf* geopolimer maka material yang bereaksi semakin banyak sehingga rantai geopolimer yang terbentuk semakin panjang (Panias & Giannopoulou, 2007).

Larutan alkali aktivator KOH, menyebabkan terbentuknya aluminosilikat yang terstabilkan oleh kation K<sup>+</sup> membentuk mineral *kalsilite* (KAlSiO<sub>4</sub>). Mineral ini membentuk struktur semikristalin, sehingga terbentuk puncak kristalin pada area tersebut dengan luas area 107 *count* dan puncak-puncak *albite* (NaAlO<sub>8</sub>Si<sub>3</sub>) dengan luas area kristalin 668 *count*, puncak *kalsilite* (KAlSiO<sub>4</sub>) lebih *amorf* dari puncak-puncak *albite* (NaAlO<sub>8</sub>Si<sub>3</sub>). Penggunaan larutan alkali aktivator NaOH, mengakibatkan puncak-puncak *albite* (NaAlO<sub>8</sub>Si<sub>3</sub>) lebih *amorf* dari puncak-puncak *kalsilite* (KAlSiO<sub>4</sub>) luas area *kalsilite* (KAlSiO<sub>4</sub>) lebih tinggi sebesar 435 *count* dan puncak-puncak *albite* (NaAlO<sub>8</sub>Si<sub>3</sub>) dengan luas area kristalin 444 *count*. Optimasi pelarutan Si dan Al, dan pembentukan oligomer Si, akan berkurang dengan banyaknya unsur lain yang mampu bereaksi bersama ion OH<sup>-</sup> dan sehingga mampu menurunkan alkalinitas (pH). Keberadaan Ca<sup>2+</sup> dan Fe<sup>3+</sup> juga akan mengganggu geopolimerisasi melalui cara bereaksi dengan Al dan Si membentuk senyawa lain. Banyaknya unsur yang mampu membentuk banyak kemungkinan reaksi menyebabkan berkurangnya optimasi pembentukan geopolimer Si-O-Al *amorfus*. Dengan kata lain, terbentuk kekuatan geopolimer yang kurang optimum, walaupun tidak semua kekuatan dikontribusi oleh bentuk *amorf* (Nadoushan & Ramezani-pour, 2016).



**Gambar 6.** Spektrum infra merah geopolimer (a)  $K_2O/SiO_2$  0,17 *curing* 60 °C, (b)  $Na_2O/SiO_2$  0,27 *curing* 60 °C

Gambar 6 menjelaskan terbentuknya geopolimer ditandai dengan adanya pita serapan yang terletak pada bilangan gelombang 1200-950  $cm^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri dari Si-O-Si atau Si-O-Al (Bakharev, 2005) dan pita serapan pada 470-460  $cm^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi tekuk Si-O-Si (Panas *et al.*, 2007). Gambar 6 menunjukkan adanya kemiripan pola geopolimer dengan aktivator KOH dan NaOH mempunyai serapan gelombang yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si-O-Si atau Si-O-Al pada 996,01 dan 987,53  $cm^{-1}$ . Pada Geopolimer dengan aktivator KOH dan NaOH bilangan gelombang 3462,77 dan 3465,49  $cm^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi ulur O-H sedangkan vibrasi tekuk H-O-H ditunjukkan pada pita serapan 1647,31 dan 1647,41  $cm^{-1}$  (Panas & Giannopoulou, 2007).

### Simpulan

Alkali  $K^+$  dapat memperkuat nilai kuat tekan geopolimer dibandingkan Alkali  $Na^+$ . Nilai kuat tekan optimum diperoleh pada rasio mol optimum  $K_2O/SiO_2$  0,17 sebesar 34,14 Mpa dan rasio mol  $Na_2O/SiO_2$  0,27 sebesar 31,85 Mpa. Suhu *curing* yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nilai kuat tekan geopolimer karena polikondensasi pada suhu tinggi dapat mengganggu mobilisasi ion-ion. pada penelitian ini diperoleh suhu *curing* optimum pada suhu 60 °C. Karakteristik geopolimer dengan rasio mol  $M_2O/SiO_2$  dan  $M_2O/Al_2O_3$  (M: K dan Na) terhadap analisis XRD mengakibatkan terbentuknya puncak  $KAlSiO_4$  (Ka) dan  $NaAlSi_3O_8$  (Al) dengan nilai derajat kristalinitas total aktivator  $K^+$  52,14% lebih *amorf* dari aktivator  $Na^+$  55,32% dan lebih *amorf* dari prekursor abu layang 58,05%. Terbentuknya vibrasi asimetri ulur asimetri (Si-O-Si, Si-O-Al) pada analisis FT-IR menandakan terbentuknya ikatan geopolimer.

### Daftar Pustaka

- Adler, J. & E.B.N. Handoko. 2011. Pengukuran Parameter Seismik dan Difraksi Sinar-X (XRD) pada Batuan Karbonat Formasi Parigi. *ITB Journal of Sciences*, 39 (1&2): 146–165
- Al-Zboon, K., Al-Harashsheh, M.S., Hani, F.B. 2011. Fly Ash-Based Geopolymer for Pb Removal from Aqueous Solution. *Journal of Hazardous Materials*
- Andini, S., Cioffi, R., Colangelo, F., Grieco, T., Montagnaro, F., & Santoro, L. 2008. Coal Fly Ash as Raw Material for the Manufacture of Geopolymer-Based Products. *Waste Management*
- ASTM. 2012. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use*. ASTM C618-12a. Annual Book of ASTM Standards
- Bakharev, T. 2005. Durability of Geopolymer Materials in Sodium and Magnesium Sulfate Solutions. *Cement and Concrete Research*
- Ekaputri, J.J., & Damayanti, O. 2007. Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar *Fly Ash Jawa Power Paiton* sebagai Material Alternatif. *Jurnal Pondasi*

- Nadoushan, J.M., & Ramezaniapour, A.A. 2016. The Effect of Type and Concentration of Activators on Flowability and Compressive Strength of Natural Pozzolan and Slag-Based Geopolymers. *Construction and Building Materials*, 111: 337–347
- Kakali, G., Perraki, T., Tsivilis, S., & Badogiannis, E. 2001. Thermal Treatment of Kaolin: The Effect of Mineralogy on the Pozzolanic Activity. *Applied Clay Science*
- Khale, D., & Chaudhary, R. 2007. Mechanism of Geopolymerization and Factors Influencing Its Development: A Review. *Journal of Materials Science*
- Panias, D., & Giannopoulou, I. 2007. The Geopolymerization Technology for the Utilization of Mining and Metallurgical Solid Wastes. *Proceedings - European Metallurgical Conference, EMC 2007*
- Silva, P.D., Sagoe-Crenstil, K., & Sirivivatnanon, V. 2007. Kinetics of Geopolymerization: Role of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$ . *Cement and Concrete Research*
- Xu, H., & Deventer, J.S.J. 2018. Factors Affecting the Geopolymerization of Alkali-Feldspars. *Mining, Metallurgy & Exploration*.